

(2)

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 05-343661

(43)Date of publication of application : 24.12.1993

(51)Int.Cl.

H01L 27/146

G01J 3/50

H04N 1/028

H04N 1/04

(21)Application number : 04-173811

(71)Applicant : RICOH CO LTD
RICOH RES INST OF GEN ELECTRON

(22)Date of filing : 08.06.1992

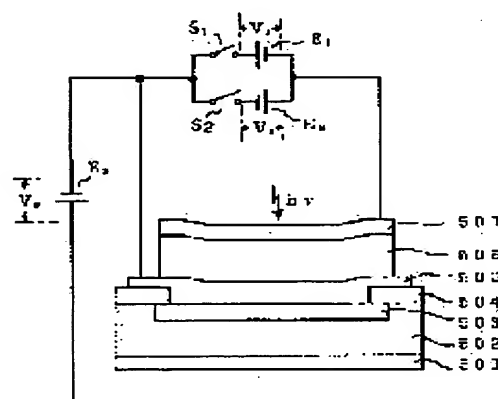
(72)Inventor : ADACHI KAZUHIKO

(54) COLOR OPTICAL SENSOR

(57)Abstract:

PURPOSE: To enhance a density with high S/N ratio without complicating manufacturing steps, a signal detection and to perform a sufficient color separation.

CONSTITUTION: A color optical sensor comprises p-n junction photodiodes 502, 503 formed on a single-crystal semiconductor substrate 501, and an amorphous silicon part 506 laminated on the photodiodes 502, 503. The part 506 has a region formed to have a thickness for absorbing a short wavelength side visible light when a light is incident from an opposite side to a side opposed to the photodiodes 502, 503 and to absorb one optical component of blue and green lights to generate carrier by applying a predetermined bias voltage thereto, and a region formed to absorb the other optical component to vanish the carrier.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the
examiner's decision of rejection or application
converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of
rejection][Date of requesting appeal against examiner's decision
of rejection]

Searching PAJ

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-343661

(43)公開日 平成5年(1993)12月24日

(51)Int.Cl. ⁵	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L 27/146				
G 0 1 J 3/50		8707-2G		
H 0 4 N 1/028		C 9070-5C		
1/04		D 7251-5C		
		7210-4M		
			H 0 1 L 27/ 14	E
			審査請求 未請求 請求項の数6(全 12 頁)	

(21)出願番号 特願平4-173811

(22)出願日 平成4年(1992)6月8日

(71)出願人 000006747

株式会社リコー

東京都大田区中馬込1丁目3番6号

(71)出願人 000115706

リコー応用電子研究所株式会社

宮城県名取市高館熊野堂字余方上5番地の10

(72)発明者 安達 一彦

宮城県名取市高館熊野堂字余方上5番地の10 リコー応用電子研究所株式会社内

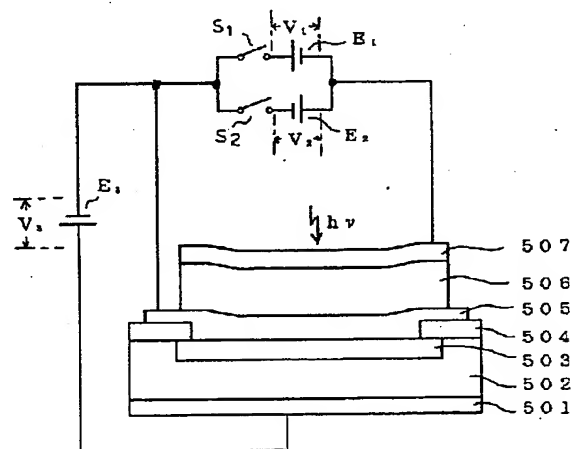
(74)代理人 弁理士 植本 雅治

(54)【発明の名称】 カラー光センサ

(57)【要約】

【目的】 製造工程、信号検出を複雑化させずに、高S/N比で高密度化が可能であって、十分な色分解を行なうことが可能である。

【構成】 本発明のカラー光センサは、単結晶半導体基板502に形成されるpn接合フォトダイオード(502, 503)と、該pn接合フォトダイオード(502, 503)上に積層されているアモルファスシリコン部506とを有している。該アモルファスシリコン部506は、前記pn接合フォトダイオード(502, 503)に面する側と反対の側から光が入射するときに、短波長側可視光を吸収する厚さに形成され、所定のバイアス電圧が印加されることによって、青色光、緑色光のいずれか一方の光成分を吸収してキャリアを生成する領域と、他方の光成分を吸収してキャリアを消滅させる領域とが形成されるようになっている。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 単結晶半導体基板に形成されるp n接合フォトダイオードと、該p n接合フォトダイオード上に積層されているアモルファスシリコン部とを有し、該アモルファスシリコン部は、前記p n接合フォトダイオードに面する側と反対の側から光が入射するときに、短波長側可視光を吸収する厚さに形成され、所定のバイアス電圧が印加されることによって、青色光、緑色光のいずれか一方の光成分を吸収してキャリアを生成する領域と、他方の光成分を吸収してキャリアを消滅させる領域とが形成されるようになっていて、これを特徴とするカラー光センサ。

【請求項2】 請求項1記載のカラー光センサにおいて、前記アモルファスシリコン部の光入射側の面には、透明導電膜による上部電極が形成され、p n接合フォトダイオード側の面には、透明導電膜による下部電極が形成されており、上部電極または下部電極に所定のバイアス電圧が印加されるようになっていて、これを特徴とするカラー光センサ。

【請求項3】 請求項1または2記載のカラー光センサにおいて、前記アモルファスシリコン部の光入射側の面、p n接合フォトダイオード側の面のうち少なくとも一方がショットキー障壁を形成していることを特徴とするカラー光センサ。

【請求項4】 請求項3記載のカラー光センサにおいて、前記アモルファスシリコン部は、i型のアモルファスシリコン層で形成されていることを特徴とするカラー光センサ。

【請求項5】 請求項3記載のカラー光センサにおいて、前記アモルファスシリコン部は、光入射側の面から所定の厚さの層とp n接合フォトダイオード側の面から所定の厚さの層とについてはi型のアモルファスシリコン層で形成され、他の層については、n型またはp型のアモルファスシリコン層が少なくとも一層、形成されていることを特徴とするカラー光センサ。

【請求項6】 請求項1記載のカラー光センサにおいて、前記アモルファスシリコン部は、p型アモルファスシリコン層、i型アモルファスシリコン層、n型アモルファスシリコン層、i型アモルファスシリコン層、p型アモルファスシリコン層が順次連続して積層され形成されているか、あるいは、n型アモルファスシリコン層、i型アモルファスシリコン層、p型アモルファスシリコン層、i型アモルファスシリコン層、n型アモルファスシリコン層が順次連続して積層され形成されていることを特徴とするカラー光センサ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、ファクシミリ、イメージスキャナ等のカラー画像の入力を必要とする分野などに利用されるカラー光センサに関する。

【0002】

【従来の技術】 従来、ファクシミリおよびイメージスキャナでカラー原稿を読み取る場合、図13(a)に示すように、赤(R)、緑(G)、青(B)の光をそれぞれ透過するフィルタ101、102、103を内蔵した一次元イメージセンサを3ライン分、並行に並べたカラーイメージセンサや、あるいは図13(b)に示すように、1画素分の受光領域内にR、G、Bの各フィルタを内蔵した光センサを配置した1ラインの一次元イメージセンサ107が用いられている。なお、図13(a)、(b)において、104は白色光源、105は原稿、106は集光レンズである。

【0003】 前者のカラーイメージセンサでは、R、G、Bの各光センサは1画素分の受光領域を最大限に使用できるため高S/N比が得られ、フィルタの形成方法も簡単である等の利点を有している。しかしながら、このカラーイメージセンサでは、各ライン間で位置ずれが発生し易いので、原稿を正確に読み取ることは難しく、読み取った後の再生画像では色ずれなどが発生し易いという問題があった。また、3ライン分のイメージセンサを必要とし、さらに、各ライン間の位置ずれを補正する場合には、各ラインからの信号を一時記憶するためのメモリが必要となるので、寸法が大きくなるという問題もあった。

【0004】 一方、後者のカラーイメージセンサでは、原稿1ラインを1ラインのイメージセンサで読み取るため、前者に比べ正確な画像読み出しが可能である。しかしながら、このカラーイメージセンサでは、1画素を3分割するため、各光センサからの電気信号は前者の約1/3と小さく高密度化した場合S/N比の面で不利である。また、フィルタの形成も前者に比べて困難であるという問題があった。

【0005】 このように、上述したカラーイメージセンサでは、いずれも、光学フィルタを使用して色分解を行なうために、光センサは平面上に配置する必要があること、またR、G、Bの光学フィルタの形成工程が複雑であり、光学フィルタによる光の減衰があることなどから、高S/N比でかつ高密度化可能なカラーイメージセンサを実現することは難しかった。

【0006】 このような問題を解決するため、フィルタを使用せずに色分解を行なうカラー光センサが提案されている。一般に、光が物質に入射した場合、物質の光透過率Tは次式に従うことが知られている。

【0007】

【数1】 $T = (1 - R)^2 \exp(-\alpha \cdot d)$

【0008】 ここで、Rは物質の表面反射率、 α は物質の吸収係数、dは物質の厚さであり、吸収係数 α は、Siあるいはアモルファスシリコン(a-Si:H)では、次式によって与えられる。

【0009】

【数2】 $\alpha = B(h\nu - E_g)^2$

【0010】ここで、Bは比例定数、hはプランク定数、 ν は光の周波数、 E_g は半導体の光学的エネルギーバンドギャップである。数2から光の波長が短くなると、吸収係数 α が大きくなり入射表面近傍で吸収され、波長が長くなると、吸収係数 α が小さくなり、光は物質の奥まで侵入し、そこで吸収される。この性質を利用し光を分光すれば、光学フィルタを使用しないで、しかも各色の光センサを積層したカラー光センサを実現することができる。

【0011】文献「センサエレクトロニクス 高橋・小長井編 昭晃堂 昭和59年 第60～62頁」（従来技術1）、文献「Vertical-Type a-Si:H Back-to-Back Schottky Diode for High-Speed Color Image Sensor, Y. K. Fang et.al., IEEE ELECTRON DEVICE LETTERS, vol.12, No.4, 1991」（従来技術2）、特開平2-292873号（従来技術3）には、上述したような原理を利用し、光学フィルタを用いずに、各色の光センサを積層したカラー光センサが示されている。

【0012】図14は上記従来技術1に示されているカラー光センサの構成図である。このカラー光センサは、p型単結晶Si基板203にn型領域202、p型領域201を順次に形成しpnnp接合を形成したものであって、光の波長によって結晶中を透過する距離が異なることを利用してカラー信号を読み取っている。すなわち、波長の短い青などの光 $h\nu_1$ を光入射側から見て手前のpn接合フォトダイオードで検出し、波長の長い黄色などの光 $h\nu_2$ を奥のnp接合フォトダイオードで検出するようにしている。なお、図14において、204、205、206は電極であり、207は保護膜である。

【0013】また、図15は従来技術2に示されているカラー光センサの構成図である。このカラー光センサは、Siよりも吸収係数 α が大きく、光を吸収し易いアモルファスシリコン（a-Si:H）303を使用し、印加電圧および極性を変えることによって3色の色分解を行なうようになっている。より具体的に説明すれば、この光センサは光入射側より、ガラス基板301、ITO302、a-Si:H303、Cr304が順次形成された構成となっており、ITO302とa-Si:H303との界面に形成されたショットキー障壁を逆バイアス状態として青色光を吸収し、また、逆バイアスを増して空乏層の幅を伸ばして緑色光を吸収するようになっており、次にa-Si:H303とCr304との界面に形成されたショットキー障壁が逆バイアス状態となるように電圧を印加することで、赤色光を吸収するようになっている。このように、バイアス状態に応じて、3色の光をそれぞれ吸収し光電変換して、3色を検出することができる。

【0014】また、図16は従来技術3に示されている

カラー光センサの構成図である。このカラー光センサは、導電性基板401上に、第1のpinフォトダイオード402と、第2のpinフォトダイオード404と、第3のpinフォトダイオード406とが順次に積層されて構成されており、光入射側の第3のpinフォトダイオード406により青色光を検出し、次の第2のpinフォトダイオード404により緑色光を検出し、最も奥に配置された第1のpinフォトダイオード402により波長の長い赤色光を検出するようになっている。なお、図16において、403、405、407は透明導電膜であり、また、408、409、410、411は電極である。

【0015】

【発明が解決しようとする課題】図14、図15、図16に示した従来のカラー光センサはいずれもフィルタを形成する必要がなく、光電変換材料自身の透過率の波長依存性を利用して分光するため、光センサの構造は縦型となりカラー光センサの寸法を小さくすることができ

る。
【0016】しかしながら、図14のカラー光センサでは、2つのpn接合フォトダイオードしか形成されていないので、基本的には2色しか検出できない。また、図15のカラー光センサでは、青色光および緑色光の検出に、光入射側手前の同じ空乏層を使用しその厚みをバイアス電圧で制御することにより、色分解しているため、緑色光を読み取った場合には青色光の信号も同時に取り込んでしまい、明瞭な色分解を行なうことができない。また、図16のカラー光センサでは、3個のpinフォトダイオードをa-Si:H膜により形成し、その前後に、さらに透明導電膜403、405、407を形成するため、製造工程が非常に複雑になり、また、このカラー光センサは4端子素子となるため信号検出においても複雑になる。

【0017】このように、上述した従来のカラー光センサでは、フィルタを形成する必要がないものの、十分な色分解を行なうことができず、また、製造工程、信号検出が複雑になるなどの欠点があった。

【0018】本発明は、上述したような従来の欠点を解決し、製造工程、信号検出を複雑化させずに、高S/N比で高密度化が可能であって、十分な色分解を行なうことの可能なカラー光センサを提供することを目的としている。

【0019】

【課題を解決するための手段】図1は本発明に係るカラー光センサの構成例を示す図である。このカラー光センサは、n型単結晶Si基板502にp型領域503が形成され、該p型領域503上に、下部電極505、アモルファスシリコン膜506、上部電極507が順次に積層されている。また、n型単結晶Si基板502のp型領域503が形成されている側と反対の側には、電極5

01が形成されている。なお、504は保護膜である。

【0020】ここで、n型単結晶Si基板502とp型領域503とによって、pn接合フォトダイオードを構成している。また、下部電極505、上部電極507は、導電性酸化物であるITO、 TiO_2 、 In_2O_3 、 SnO_2 などのうち少なくとも一種の透明導電膜により形成されている。また、アモルファスシリコン膜506は、 SiH_4 ガスをを用いたプラズマCVD法などによりi型a-Si:H膜として形成される。なお、i型a-Si:H膜とは、 SiH_4 をプラズマCVD法で分解して堆積する場合に不純物を故意に添加しないで作られる僅かにn型のa-Si:H膜、あるいは、微量の第3族元素を添加することによって作られる真性のa-Si:H膜を意味している。

【0021】この際、透明導電膜として形成された下部電極505、上部電極507のうちの少なくとも一方とアモルファスシリコン膜506との間には、その界面においてショットキー障壁が形成されている。

【0022】例えば、上部電極507とアモルファスシリコン膜506との界面に第1のショットキー障壁が形成されるとともに、下部電極505とアモルファスシリコン膜506との界面に第2のショットキー障壁が形成されている。このカラー光センサでは、ショットキー障壁に逆バイアスを印加して空乏層を形成し、この空乏層によって所定波長の光成分を吸収してキャリアを発生させ光電流として取り出すことを意図している。従って、第1、第2のショットキー障壁が逆バイアスとなるよう、上部電極507に負または正の電圧が印加されるようになっている。すなわち、図1の例では、上部電極507に所定の負電圧 V_1 を印加するために、バッテリー E_1 が設けられ、また、上部電極507に所定の正電圧 V_2 を印加するために、バッテリー E_2 が設けられており、それぞれスイッチ S_1 、 S_2 によってバイアスを加えるか否かを制御するようになっている。

【0023】さらに、このカラー光センサでは、n型単結晶Si基板502とp型領域503とで構成されるpn接合フォトダイオードに対しても逆バイアスを印加して、所定波長の光成分を吸収し、光電流として取り出すことを意図している。従って、図1の例では、電極501と下部電極505との間には、pn接合フォトダイオードに対して逆バイアスとなるよう所定の電圧 V_3 を印加するためのバッテリー E_3 が設けられている。

【0024】このような構成のカラー光センサの動作原理について説明する。図2(a)乃至(d)は上記カラー光センサのエネルギーバンドを示す図であり、図2(a)はバイアス電圧 V_1 、 V_2 、 V_3 が印加されていない状態を示す図、図2(b)はバイアス電圧 V_1 が印加されている状態を示す図、図2(c)はバイアス電圧 V_2 が印加されている状態を示す図、図2(d)はバイアス電圧 V_3 が印加されている状態を示す図である。

【0025】先づ、図2(a)を参照すると、バイアス電圧 V_1 、 V_2 、 V_3 が印加されていない状態では、エネルギーレベルは、フェルミ準位 V_F が水平となっている。また、上部電極507とアモルファスシリコン膜506との界面には、ショットキー障壁601が形成され、下部電極505とアモルファスシリコン膜506との界面には、ショットキー障壁602が形成されている。

【0026】この状態で、スイッチ S_1 をオンにし、光入射側の障壁601が逆バイアスになるように上部電極507に負の電圧 V_1 を印加すると、図2(b)のように、上部電極507とアモルファスシリコン膜506との界面に、バイアス電圧 V_1 に応じた幅 d_1 の空乏層608が形成される。このようにアモルファスシリコン膜506の光入射側の表面に近い所に空乏層608を形成すると、この空乏層608内では、波長の短い光($h\nu_1$)のみが吸収されて電子・正孔対が発生し、これが再結合せずに光電流として外部に取り出される。このとき、外部に検出される光電流 I_s は、透明導電膜である上部電極507における吸収、および上部電極507とアモルファスシリコン膜506との界面での入射光の反射を無視し、空乏層608に入射した光($h\nu_1$)が全て吸収されて電流に変換されたと仮定すると、次式によって与えられる。

【0027】

【数3】

$$I_s = (p/h\nu) \cdot q \cdot [1 - \exp(-\alpha \cdot d_1)]$$

$$\alpha = B(h\nu - E_g)^2$$

【0028】ここで、 p は単位面積当たりの光パワー、 q は素電荷、 d_1 は空乏層608の厚さ、 α はアモルファスシリコン膜506(すなわちa-Si:H)の吸収係数、 B は比例定数、 E_g はa-Si:Hの光学的エネルギーバンドギャップである。a-Si:Hの光学的エネルギーバンドギャップは、1.6~1.9eVであり、望ましくは、1.7eV程度であるのが良い。またa-Si:Hの吸収係数 α は480nmの青色光($h\nu_1$)では約 $1 \times 10^4 \text{ cm}^{-1}$ であり、この青色光($h\nu_1$)は、空乏層608の厚さ d_1 が2500Å程度であればほとんど吸収される。なお、上記値はあくまでも一例を示すものであって、a-Si:Hの成膜条件等で吸収係数は異なる。

【0029】ところで、波長の短い上記光($h\nu_1$)よりも波長の長い光($h\nu_2$)は、上記幅 d の空乏層608で吸収される確率が低く、エネルギーバンドが図2(b)の状態の場合、主に空乏層608を透過して、a-Si:H膜506の中性領域609で吸収される。しかしながら、a-Si:H膜506がi型のものである場合、i型a-Si:Hでは少数キャリアの拡散長が数1000Åと短いいため、この領域で生成されたキャリアはすぐに再結合し、外部には取り出されない。従っ

て、光入射側のショットキー障壁601が逆バイアスとなるように上部電極507に負の電圧 V_1 を印加した図2(b)の状態では、青色光($h\nu_1$)のみを検出することができる。

【0030】一方、図2(a)の状態、スイッチ S_1 をオンにし、障壁602が逆バイアスとなるように上部電極507に正の電圧 V_2 を印加すると、図2(c)のように、アモルファスシリコン膜506の深部に、バイ*

$$I_{c1} = (p/h\nu) \cdot q \cdot T_n \cdot [1 - \exp(-\alpha \cdot d_1)]$$

$$T_n = \exp(-\alpha \cdot w)$$

【0032】ここで、 T_n は空乏層611の手前にある中性領域610の透過率であり、また w は中性領域610の厚さである。550nmの緑色光では α は約 $5 \times 10^4 \text{ cm}^{-1}$ であるので、空乏層611の厚さ d_1 は5000Å程度であれば緑色光をほとんど吸収することができる。このように、ショットキー障壁602が逆バイアスとなるように上部電極507に正の電圧 V_2 を印加した図2(c)の状態では、緑色光のみを検出することができる。

【0033】一方、 n 型単結晶 Si 基板502と p 型領域503とで構成された pn 接合フォトダイオードに対して、逆バイアス電圧 V_3 を印加すると、エネルギーバンドは図2(d)のようになる。この場合、青色光($h\nu_1$)は、 $a\text{-Si:H}$ 膜506で吸収されるが、 $a\text{-Si:H}$ 膜506には空乏層が形成されていないので、この領域で生成されたキャリアはすぐに再結合し、外部には取り出されない。これに対し、青色光($h\nu_1$)、緑色光($h\nu_2$)よりも長波長の光成分($h\nu_3$)は、 $a\text{-Si:H}$ 膜506、下部電極505を透過して pn 接合フォトダイオードに入射し、逆バイアス状態となっている pn 接合フォトダイオードに吸収され、外部に光電流として取り出される。このときの光電流 I_{s1} は、次式によって与えられる。

$$I_{s1} = (p/h\nu) \cdot q \cdot T_n \cdot [1 - \exp(-\alpha \cdot d_1)]$$

$$T_n = \exp(-\alpha \cdot d_1)$$

【0035】ここで、 T_n は $a\text{-Si:H}$ 膜506の透過率、 d_1 は $a\text{-Si:H}$ 膜506の膜厚、 α_1 は $a\text{-Si:H}$ 膜506の吸収係数、 α_2 は単結晶 Si の吸収係数、 d_2 は pn 接合フォトダイオードの光電変換領域層の厚さである。620nmの赤色光では単結晶 Si の吸収係数 α_2 は約 $2 \times 10^4 \text{ cm}^{-1}$ であるので、光電変換領域層の厚さ d_2 は10μm程度であれば、赤色光をほぼ吸収することができる。このように、 pn 接合フォトダイオードに逆バイアス電圧 V_3 を印加した図2(d)の状態では、赤色光のみを検出することができる。

【0036】以上のように、 $a\text{-Si:H}$ 膜506内の空乏層の位置をバイアス電圧の極性により変化させることによって青(B)と緑(G)を検出し、また赤を長波長領域の感度が高い単結晶 Si により検出することで、正確かつ十分な色分解を行なうことができる。またカラー光センサの各バイアス電圧の大きさにより空乏層の幅を変化させ波長に対する感度スペクトルや、各色の感度スペクトルの半値幅を任意に変えることができる。

【0037】上記構成のカラー光センサにおいて、上部電極507の厚さは、これにITOを使用した場合、500~2000Å程度であり、 $a\text{-Si:H}$ 膜506の厚さは5000~20000Å程度であり、また、下部電極505の厚さは、これにITOを使用した場合、500~2000Å程度であり、また単結晶 Si 上に形成された pn 接合フォトダイオードの厚さは光入射側の p

*アス電圧 V_2 に応じた幅 d_1 の空乏層608が形成される。この場合、波長の短い光($h\nu_1$)は $a\text{-Si:H}$ 膜506の中性領域610で吸収され消滅し、残った長波長領域の光($h\nu_2$)のみが空乏層611内で吸収されて光電流として外部に取り出される。このときの光電流 I_{s1} は、次式によって与えられる。

$$I_{s1} = (p/h\nu) \cdot q \cdot T_n \cdot [1 - \exp(-\alpha \cdot d_1)]$$

$$T_n = \exp(-\alpha \cdot w)$$

【0031】
【数4】
※ ν_1)、緑色光($h\nu_2$)は、 $a\text{-Si:H}$ 膜506で吸収されるが、 $a\text{-Si:H}$ 膜506には空乏層が形成されていないので、この領域で生成されたキャリアはすぐに再結合し、外部には取り出されない。これに対し、青色光($h\nu_1$)、緑色光($h\nu_2$)よりも長波長の光成分($h\nu_3$)は、 $a\text{-Si:H}$ 膜506、下部電極505を透過して pn 接合フォトダイオードに入射し、逆バイアス状態となっている pn 接合フォトダイオードに吸収され、外部に光電流として取り出される。このときの光電流 I_{s1} は、次式によって与えられる。

$$I_{s1} = (p/h\nu) \cdot q \cdot T_n \cdot [1 - \exp(-\alpha \cdot d_1)]$$

$$T_n = \exp(-\alpha \cdot d_1)$$

層が0.2~5μm程度、 n 層が5~20μm程度である。従って、本カラー光センサは積層構成とすることにより、従来に比べて、装置を小型化できる。また、上記構成のカラー光センサは、構造が単純であるため、容易に作製することができるという利点がある。

【0038】しかしながら、上記構成のカラー光センサでは、第1、第2のショットキー障壁601、602を逆バイアスすることにより形成される空乏層608、611を利用して光電変換を行なうため、バイアス電圧 V_1 、または V_2 が大きくなると、 i 型 $a\text{-Si:H}$ 膜506の全域にわたって空乏層が形成されてしまい、色分解ができなくなる場合がある。このため、比較的低電圧(0~3V程度)の範囲で適正なバイアス電圧 V_1 、 V_2 を設定しなければならないが、バイアス電圧は光センサの応答速度に影響し、一般に電圧が低いと応答速度は遅くなる。従って、上記カラー光センサを高速で動作させる場合には、逆バイアス状態において空乏層の伸びを光の波長に合わせた厚さに抑える構造を取る必要がある。

【0039】図3は逆バイアス状態において、空乏層の伸びを光の波長に合わせた厚さに抑える構造を有するカラー光センサの構成例を示す図である。なお、図3において、図1と同様の箇所には同じ符号を付している。このカラー光センサでは、図1に示したカラー光センサにおいて、アモルファスシリコン膜506の一部が n 型のものとして構成されている。すなわち、図1のカラー光

センサのi型a-Si:H膜506(706, 708)の中央に第5族元素をドーブしたn型a-Si:H層707が形成されている。なお、n型a-Si:H層707は、SiH₄をプラズマCVD法によって分解堆積するときに第5族元素を添加することによって、膜厚が500~2000Å程度のものに形成される。

【0040】図4(a)乃至(d)には、図2(a)乃至(d)に対応させて、各バイアス状態における図3のカラー光センサのエネルギーバンドが示されている。図4(b), 図4(c)からわかるように、図3のカラー光センサでは、i型a-Si:H層706, 708の間にn型a-Si:H層707を形成したことで、前後のショットキー障壁809, 810によって形成される空乏層811, 812をi型a-Si:H層708, 706の厚みにそれぞれ抑えることができる。また、不必要な光をこのn型a-Si:H層707およびi型a-Si:H層708, 706の中性領域によって吸収して消滅させ、青、緑の色分解を明瞭にすることができる。

【0041】このように、大きな逆バイアス電圧を加えた場合にも、空乏層の伸びをi型a-Si:H層708または706の厚さまでに抑え、a-Si:H膜(706, 707, 708)全域にわたって空乏層が形成されるのを防止することができるので、高い電圧を印加して高速なカラー光センサを実現することができる。また、n型a-Si:H層707は、不必要な光を吸収する層としても働き、これにより明瞭な色分解を行なうことができる。

【0042】図5は本発明に係るカラー光センサの他の構成例を示す図である。なお、図5において、図1, 図3と同様の箇所には同じ符号を付している。図5のカラー光センサでは、導電性酸化膜からなる下部電極505, 上部電極507間に、p型a-Si:H層906, i型a-Si:H層907, n型a-Si:H層908, i型a-Si:H層909, p型a-Si:H層910が順次に形成されている。ここで、p型a-Si:HはSiH₄をプラズマCVD法によって分解堆積するときに第3族元素を添加することによって作ることができる。また、n型a-Si:Hは第5族元素を添加することによって作ることができる。

【0043】このカラー光センサにおいては、a-Si:H領域がp型a-Si:H層910, i型a-Si:H層909, n型a-Si:H層908, p型a-Si:H層906, i型a-Si:H層907, n型a-Si:H層908のように、i型のa-Si:Hをp型およびn型のa-Si:Hで挟み込んだ構造となっている。このような構造に逆バイアスを印加すると、空乏層はp型およびn型a-Si:H層にはほとんど形成されず、従って、p型およびn型a-Si:H層は電界のかからない中性領域となり、ここに入射した光によって電子・正孔対が生成されるものの、電子・正孔対は少数

キャリアの拡散長が極めて短いとすぐに再結合し、光信号としては検出されない。これに対して、i型a-Si:H層は空乏層となり、印加した電圧はほぼこの領域に加わるので、光入射によって生成された電子・正孔対は電界によって外部に取り出され、光信号として検出される。

【0044】図6(a)乃至(d)には、図2(a)乃至(d), 図4(a)乃至(d)に対応させて、各バイアス状態における図5のカラー光センサのエネルギーバンドが示されている。このカラー光センサにおいて、青色光(hν₁)を検出する場合には、光入射側のp型a-Si:H層910とi型a-Si:H層909との接合が逆バイアスになるように上部電極507に負の電圧を印加する。そのときのエネルギーバンドは図6(b)のようになり、i型a-Si:H層909が空乏層となって、入射した青色光(hν₁)により電子・正孔対が生成され、この領域に加わっている電界によって外部に光電流として取り出すことができる。また、この場合、青色光(hν₁)よりも波長の長い緑色光(hν₂)は入射側のi型a-Si:H層909では吸収されずさらに奥まで侵入し、そこで吸収されるが、i型a-Si:H層909よりも奥の各層908, 907, 906は電圧の加わらない中性領域となっているので、ここで吸収された緑色光(hν₂)により生成される電子・正孔対はすぐに再結合して消滅し、光信号としては検出されない。従って、図6(b)の状態とすることにより、青色光(hν₁)のみを検出することができる。

【0045】次に、緑色光(hν₂)を検出場合には、上部電極507に正の電圧を印加して、i型a-Si:H層907とp型a-Si:H層906との接合を逆バイアス状態にする。そのときのエネルギーバンドは図6(c)のようになり、i型a-Si:H層907が空乏層となる。ここで、緑色光(hν₂)よりも波長の短い青色光(hν₁)は、空乏層となっているi型a-Si:H層907に達する以前に、層910, 909, 908で吸収されるが、いまの場合、これらの層910, 909, 908は電圧の加わっていない中性領域となっているので、ここで吸収された青色光(hν₁)により生成される電子・正孔対はすぐに再結合して消滅し、光信号としては検出されない。これに対し、緑色光(hν₂)は、空乏層となっているi型a-Si:H層907に達するので、緑色光(hν₂)によってここで生成された電子・正孔対を、この領域に加わっている電界により光電流として外部に取り出すことができる。従って、図6(c)の状態とすることにより、緑色光(hν₂)のみを検出することができる。

【0046】次に、赤色光(hν₃)を検出場合には、図1の構成例と同様に、n型単結晶Si基板502とp型領域503とで構成されたpn接合フォトダイオードを逆バイアス状態にする。そのときのエネルギーバ

ンドは、図6(d)のようになり、 $a-Si:H$ 層910乃至906を透過した赤色光($h\nu_3$)は、逆バイアス状態となっているpn接合フォトダイオードに吸収され、外部に光電流として取り出すことができる。なお、赤色光($h\nu_3$)よりも波長の短い青色光($h\nu_1$)、緑色光($h\nu_2$)は、このpn接合フォトダイオードに達する前に、中性領域となっている $a-Si:H$ 領域において吸収され消滅するので、光電流として検出されない。従って、図6(d)の状態とすることにより、赤色光($h\nu_3$)のみを検出することができる。

【0047】このようにして、バイアス状態を変えて3原色の光を検出することができる。ところで、図5の構成例では、 $a-Si:H$ による光電変換領域に、光を吸収してキャリアを消滅させる中性領域と光を吸収してキャリアを生成する空乏層とを明確に形成し、青、緑の光のうち必要な光を空乏層で吸収する一方、不必要な光を中性領域によって消滅させることにより明瞭な色分解を行なうことができる。また、図1に示したようなショットキー障壁を利用したカラー光センサよりも暗電流が小さく、高いS/N比を得ることができる。また、n型 $a-Si:H$ 層908を設けた構造となっていることにより、高い電圧を印加する場合にも、i型 $a-Si:H$ 層909または907の空乏層の伸びを抑えることができ、高速のカラー光センサを実現することができる。

【0048】また、図5の構成において、検出される光のスペクトルは、光電変換材料の吸収係数と層の厚さとによって決定されるので、光電変換材料を決めれば、層厚によって任意のスペクトルを実現することができる。なお、上部電極の厚さは、これにITOを使用した場合、500~2000Å程度であり、また、p型 $a-Si:H$ 層910の厚さは100~2000Å程度であり、また、i型 $a-Si:H$ 層909の厚さは500~3000Å程度であり、また、n型 $a-Si:H$ 層908の厚さは100~2000Å程度であり、i型 $a-Si:H$ 層907の厚さは1000~7000Å程度であり、また、p型 $a-Si:H$ 層906の厚さは100~2000Å程度である。また、単結晶Si上に形成されたpn接合フォトダイオードは光入射側のp層が0.2~5μm程度であり、また、n層が5~20μm程度である。

【0049】上述のように、本発明のカラー光センサは、短波長側の青色光および緑色光の検出に、可視光で感度が高く、かつ下地基板の自由度の大きい $a-Si:H$ を使用し、また、赤色光の検出に長波長において感度の大きい単結晶Siによるpn接合フォトダイオードを使用し、これらを積層しており、フィルタを使用しないので、3原色光を高感度で検出でき、高いS/N比を達成することができる。また、各色の光センサが積層化されていることにより、小型なものとなり、高密度なカラー光センサアレイを実現できる。また、基板に単結晶Si

iを使用することにより、単結晶Si内に画素選択用アナログスイッチや増幅器、さらにはその他各種の信号処理回路などを一体化して配置することができ、これにより、高機能カラー光センサを実現することも可能である。

【0050】また、本発明では、 $a-Si:H$ の光電変換部において、青色光、緑色光のいずれか一方の光成分を吸収してキャリアを生成する領域と、他方の光成分を吸収してキャリアを消滅させる領域とが交互に形成されるので、これにより、正確な色分解を行なうことができる。また、各色の光センサを積層した構成となっていることで、同一箇所に積層したR、G、B各光センサによって同一画素を検出することが可能となり、色ずれを生じさせずに読み取ることができる。

【0051】さらに、本発明のカラー光センサは、その作製工程において、従来必要とされていた複雑なフィルタ工程が不要となり、また、光センサ部をプラズマCVD法により連続して形成することができるので、製造工程を極めて簡単なものにする事ができ、歩留りも高く、特性的に安定したセンサを容易に得ることができる。

【0052】なお、上述した各構成例において、n型の層をp型にし、またp型の層をn型にして、各層の導電型を逆にした構成のものとする事も可能である。具体的に、単結晶Siのpn接合フォトダイオードのn層とp層とをそれぞれ逆の導電型のものにする事もできる。また、 $a-Si:H$ の光電変換部において、n型 $a-Si:H$ 、p型 $a-Si:H$ をそれぞれ逆の導電型のものにする事ができる。このように、導電型を逆のものにしても、上述したと同様の作用効果を得ることができる。

【0053】

【実施例】以下、本発明の実施例を具体的に説明する。

実施例1

図7は実施例1の構成図である。実施例1のカラー光センサは、光入射側より順次に、ITOの上部電極1108と、i型 $a-Si:H$ 層1107と、ITOの下部電極1106と、単結晶Siのp層1103およびn層1102からなるpn接合フォトダイオードとが積層されて構成されたものとなっている。このカラー光センサでは、p型単結晶Si 1101上のnウェル領域1102の一部に、第3族元素を添加してp層1103を作り、pn接合フォトダイオードを形成した。なお、nウェル領域1102は約5μm、p層1103は約1μmの厚さにした。このようにpn p構成とすることにより、Si基板の奥で生成されたキャリアがpn接合フォトダイオードに漏れないようにした。また、pn接合フォトダイオードのp層1103上に、ITOの下部電極1106を約700Åの膜厚に形成し、不純物の添加されていないi型 $a-Si:H$ 層1107を約1μmの膜厚に形

成し、ITOの上部電極1108を約700Åの膜厚に順次積層した。図8はこのカラー光センサの分光スペクトルを示しており、図8から、実施例1のカラー光センサは光学フィルタなしでも明瞭に3原色を色分解できることがわかる。

【0054】実施例2

図9は実施例2の構成図である。実施例2のカラー光センサは、光入射側より順次に、ITOの上部電極1310と、i型a-Si:H層1309と、n型a-Si:H層1308と、i型a-Si:H層1307と、ITOの下部電極1306と、単結晶Siのp層1303およびn層1302からなるpn接合フォトダイオードとが積層されて構成されたものとなっている。

【0055】このカラー光センサでは、p型単結晶Si 1301上のnウェル領域1302の一部に第3族元素を添加しp層1303を作り、pn接合フォトダイオードを形成した。なお、nウェル領域1302は約5μm、p層1303は約1μmの厚さにした。このようにpn p構成とすることにより、Si基板の奥で生成されたキャリアがpn接合フォトダイオードに漏れないようにした。また、pn接合フォトダイオードのp層1303上に、ITOの下部電極1306を約700Åの膜厚に形成し、不純物の添加されていないi型a-Si:H層1307を約5000Åの膜厚に形成し、第5族元素の添加されたn型a-Si:H層1308を約2000Åの膜厚に形成し、i型a-Si:H層1309を約3000Åの膜厚に形成し、ITOの上部電極1310を約700Åの膜厚に形成した。図10はこのカラー光センサの分光スペクトルを示しており、図10から、実施例2のカラー光センサは、各波長に対する感度に関しては実施例1のカラー光センサよりもやや小さいが、色分解能については実施例1のカラー光センサよりも優れていることがわかる。また、実施例2のカラー光センサは、バイアス電圧を大きくすることができ、高速応答が可能となる。

【0056】実施例3

図11は実施例3の構成図である。実施例3のカラー光センサは、光入射側より順次に、ITOの上部電極1512と、p型a-Si:H層1511と、i型a-Si:H層1510と、n型a-Si:H層1509と、i型a-Si:H層1508と、p型a-Si:H層1507と、ITOの下部電極1506と、単結晶Siのp層1503およびn層1502からなるpn接合フォトダイオードとが積層されて構成されたものとなっている。

【0057】このカラー光センサでは、p型単結晶Si 1501上のnウェル領域1502の一部に第3族元素を添加しp層1503を作り、pn接合フォトダイオードを形成した。なお、nウェル領域1502は約5μm、p層1503は約5μmの厚さにした。このように

pn p構成とすることにより、Si基板の奥で生成されたキャリアがpn接合フォトダイオードに漏れないようにした。また、pn接合フォトダイオードのp層1503上に、ITOの下部電極1506を約700Åの膜厚に形成し、第3族元素の添加されたp型a-Si:H層1507を約1000Åの膜厚に形成し、不純物の添加されていないi型a-Si:H層1508を約5000Åの膜厚に形成し、第5族元素の添加されたn型a-Si:H層1509を約2000Åの膜厚に形成し、i型a-Si:H層1510を約2000Åの膜厚に形成し、第3族元素の添加されたp型a-Si:H層1511を約500Åの膜厚に形成し、ITOの上部電極1512を約700Åの膜厚に形成した。

【0058】図12はこのカラー光センサの分光スペクトルを示しており、図12から、実施例3のカラー光センサは、実施例2のカラー光センサと比べ、各波長に対する感度についてはやや小さいが、色分解能についてはさらに向上していることがわかる。

【0059】

【発明の効果】以上に説明したように、請求項1、2記載の発明によれば、単結晶半導体基板に形成されるpn接合フォトダイオードと、該pn接合フォトダイオード上に積層されているアモルファスシリコン部とを有し、該アモルファスシリコン部は、前記pn接合フォトダイオードに面する側と反対の側から光が入射するときに、短波長側可視光を吸収する厚さに形成され、所定のバイアス電圧が印加されることによって、青色光、緑色光のいずれか一方の光成分を吸収してキャリアを生成する領域と、他方の光成分を吸収してキャリアを消滅させる領域とが形成されるようになっているので、構造が簡単であり、3原色の光センサを積層化でき、装置を小型化することができ、また、製造工程、信号検出を複雑化せず、高S/N比で高密度化が可能であり、また3色の色分解能を著しく向上させることができる。

【0060】また、請求項3、4記載の発明によれば、請求項1または2記載のカラー光センサにおいて、アモルファスシリコン部の光入射側の面、pn接合フォトダイオード側の面のうち少なくとも一方がショットキー障壁を形成しているため、ショットキー障壁にバイアス電圧を印加することによって空乏層を形成し、この領域で所定波長の光成分が吸収されるとき、キャリアを生成することができる。

【0061】また、請求項5記載の発明によれば、請求項3記載のカラー光センサにおいて、アモルファスシリコン部は、光入射側の面から所定の厚さの層とpn接合フォトダイオード側の面から所定の厚さの層とについてはi型のアモルファスシリコン層で形成され、他の層については、n型またはp型のアモルファスシリコン層が少なくとも一層、形成されているので、高いバイアス電圧を印加することができ、高いバイアス電圧を印加する

ことで、高速応答動作を行なわせることができる。

【0062】また、請求項6記載の発明によれば、請求項1記載のカラー光センサにおいて、前記アモルファスシリコン部は、p型アモルファスシリコン層、i型アモルファスシリコン層、n型アモルファスシリコン層、i型アモルファスシリコン層、p型アモルファスシリコン層が順次連続して積層され形成されているか、あるいは、n型アモルファスシリコン層、i型アモルファスシリコン層、p型アモルファスシリコン層、i型アモルファスシリコン層、n型アモルファスシリコン層が順次連続して積層され形成されているので、より明瞭な色分解を行なうことができるとともに、ショットキー障壁を利用したカラー光センサよりも暗電流が小さく、より高いS/N比を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係るカラー光センサの構成例を示す図である。

【図2】(a)乃至(d)は図1のカラー光センサの動作原理を説明する図である。

【図3】本発明に係るカラー光センサの他の構成例を示す図である。

【図4】(a)乃至(d)は図3のカラー光センサの動作原理を説明する図である。

【図5】本発明に係るカラー光センサの他の構成例を示す図である。

【図6】(a)乃至(d)は図5のカラー光センサの動作原理を説明する図である。

【図7】本発明のカラー光センサの実施例1の構成図である。

【図8】図7のカラー光センサの分光スペクトルを示す図である。

【図9】本発明のカラー光センサの実施例2の構成図で*

*ある。

【図10】図9のカラー光センサの分光スペクトルを示す図である。

【図11】本発明のカラー光センサの実施例3の構成図である。

【図12】図11のカラー光センサの分光スペクトルを示す図である。

【図13】(a)、(b)はフィルタを用いた従来のカラーイメージセンサの構成例を示す図である。

【図14】従来のカラー光センサの構成図である。

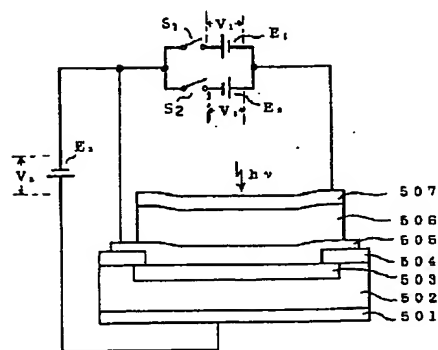
【図15】従来のカラー光センサの構成図である。

【図16】従来のカラー光センサの構成図である。

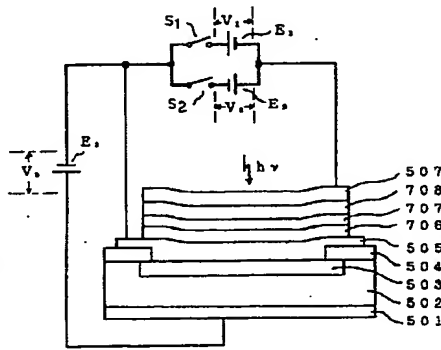
【符号の説明】

501	電極
502	n型単結晶Si基板
503	p型領域
504	保護膜
505	下部電極
506	アモルファスシリコン膜
507	上部電極
601, 602	ショットキー障壁
608, 611	空乏層
610	中性領域
706, 708	i型a-Si:H層
707	n型a-Si:H層
809, 810	ショットキー障壁
811, 812	空乏層
906	p型a-Si:H層
907	i型a-Si:H層
908	n型a-Si:H層
909	i型a-Si:H層
910	p型a-Si:H層

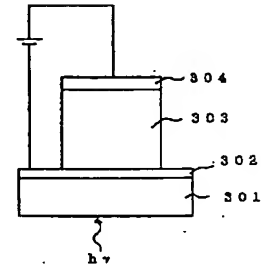
【図1】



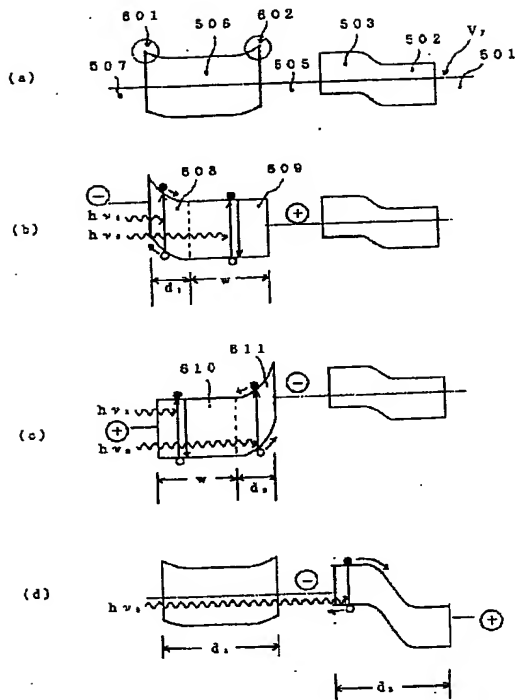
【図3】



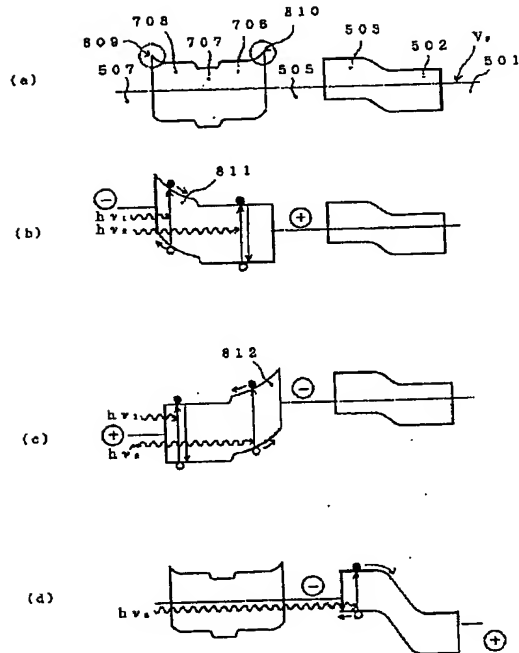
【図15】



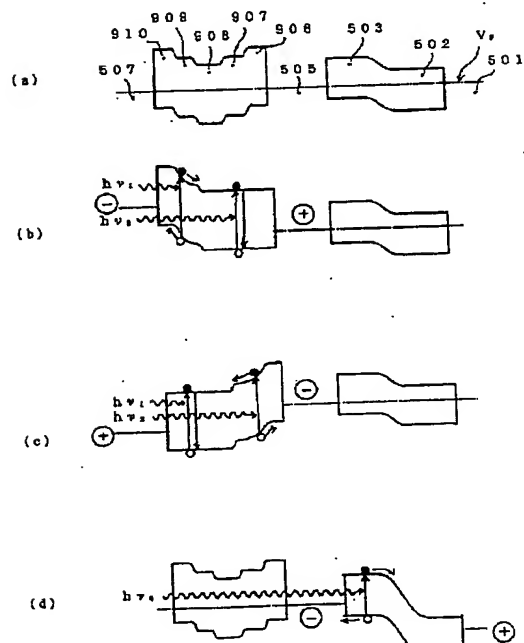
【図2】



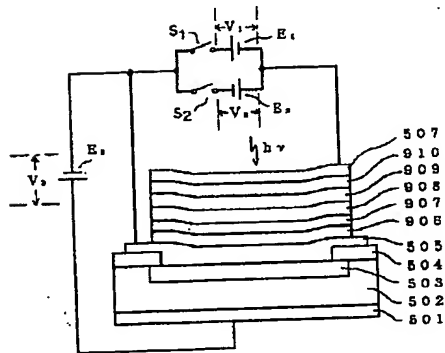
【図4】



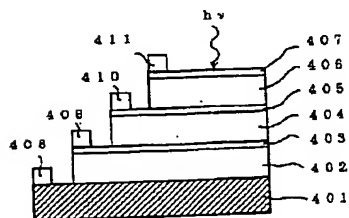
【図6】



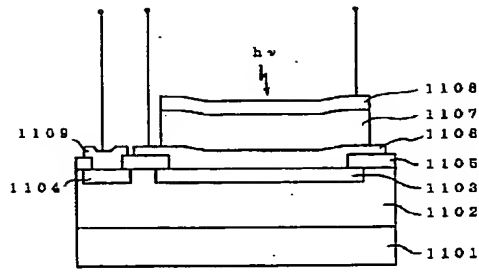
【図5】



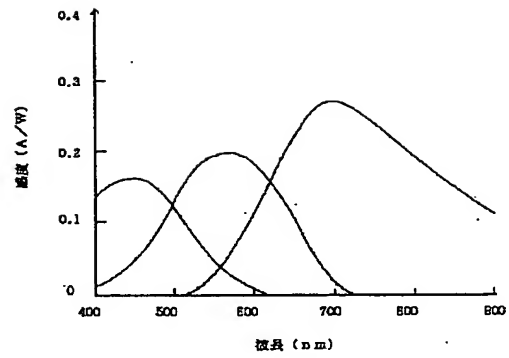
【図16】



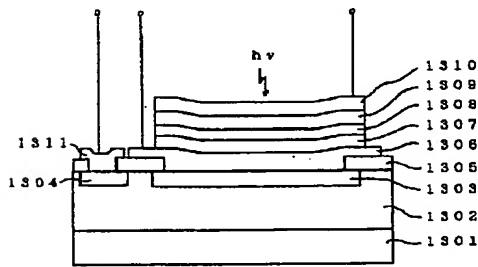
【図7】



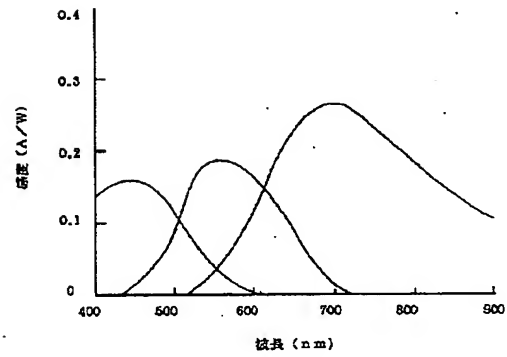
【図8】



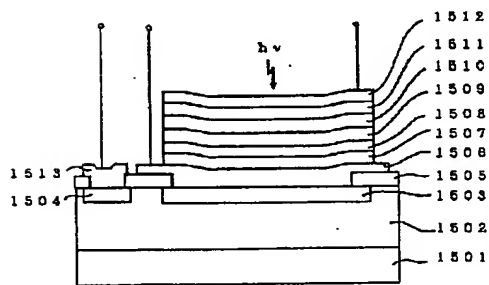
【図9】



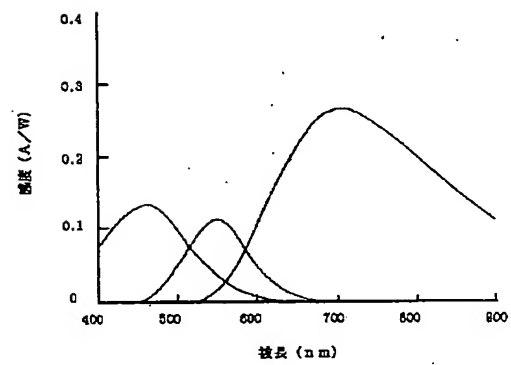
【図10】



【図11】



【図12】



【圖 14】

